

トレイグジスタンス・ネットワークロボット構想

— アールキューブをめざして —

舘 障

■ トレイグジスタンスとは

トレイグジスタンス (tele-existence) とは、人間が従来の時空の制約から解放され、時間と空間ないしはそれらの両者を隔てた実効環境に等価的に存在することをめざす新しい概念である。一方、バーチャルリアリティ (virtual reality: VR) とは、人間が現在実際に存在している現前環境以外の環境を、あたかもそれが現前環境のような感覚をもって体験し、かつその環境で行動することを可能とする新しい技術であって、トレイグジスタンスを別の観点から言い表しており、両者は本質的には同一概念のエイリアスである。

トレイグジスタンスは、1980年に機械技術研究所から生まれ育った我が国独自の技術であり、大型プロジェクト「極限作業ロボット」の研究開発計画の一つの大きな柱の役割を担った。現在では、その工学的実現の可能性が理論的にも、また実際のハードウェアシステムによる実験からも実証され、基本システムの設計法が明確になっている。さらに、その研究成果は海洋作業の実証機にも組み込まれ、実用に近づいている。なお、最初の学会報告は、1982年に計測自動制御学会で行われ、関連特許は1981年に出願されている。一方、米国ではミンスキーにより1983年に発表された ARAMIS の報告書のなかでテレプレゼンス (telepresence) と呼ばれ、近年 NASA を中心として盛んになっている。

トレイグジスタンスでは、人間が等価的に存在する実効環境が、(1) 人間にとって自然な三次元空間を構成しており、(2) 人間がそのなかで自由に行動でき、しかもその実効環境との相互作用が自然な形で実時間に生じ、(3) その環境への自己投射性が生じることが必要である。これはそれぞれ、臨場感、実時間インタラクション、自己投射性と呼ばれる。

トレイグジスタンスを用いるロボットの制御では、人間の運動や力などが実時間で計測され、内部状態が推定される。その内部状態がロボットに伝達され、直接ロボットの運動制御システムをコントロールし、人の動きを忠実に再現してロボットの人工の目、首、手、足などを制御する。その時のロボットの人工の感覚器からの情報は、逆にすべて人間の感覚器に直接提示されることになる。

したがって、例えば人間が見たい方向を向けば、ロボットも同一方向を向いて、そこに人がいた時に見える情景に対応する像を、人の網膜上に実像として結像するわけである。人が自分の腕を目の前に持ってくると、視野内にはロボットの腕が自分の腕のかわりに全く同一の位置関係で現れてくる。

このようにして、人は自分の手と対象物、さらには周りの空間との関係を、自分の過去の経験と同一の関係で捉えて作業ができる。

ロボットが物体に触れた感覚は、人の手に皮膚刺激として提示され、人は自分で直接触れたのに似た感覚をもって作業できるのである。

■ 現在までに研究開発されたシステムの例

■移動型トレイグジスタンス:1985年

自律機能を有する移動ロボットで、人間と同じような眼間距離と構成をもったテレビカメラを有し、これが左右に振られるようになっている。その二つのカラー画像がアンテナを介してUHFの信号で遠方に送られる。また車載のコンピュータと人間側にあるコンピュータはモデムを介して交信される。人間はこのシステムによって、ちょうど車に乗って運転しているような感覚で操作することができる(図1)。音に関しても、ヘッドホンを使って三次元の音響を聞くことができ、自然な三次元の視聴覚を得ながら操縦できる。実験では、ジョイスティックを使って制御している。このロボットを使ったトレイグジスタンスの実験では、障害物のある場所を車を運転するような感覚で移動できることが実証され、視野角の影響や首の追従のさせ方等が定量的に検討された。

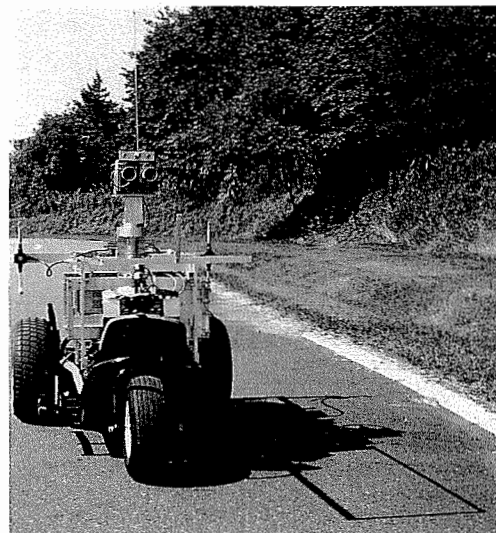


図1
移動型トレイグジスタンス・システム

■トレイグジスタンス・マスタスレーブシステム:1989年

トレイグジスタンス実験用マスタ装置に乗り込み、遠隔のロボットとの通信路を確立すると、オペレーターは居ながらにして遠隔地のロボットと自分自身が一体化したような感覚を得ることができる。オペレーターの首や手の運動が、ゴニオメータのロータリエンコーダのパルスを上ダウンカウンタでカウントすることで実時間計測され、コンピュータと通信装置を介して遠隔地のロボットに送られる。平行リンクとユニバーサルジョイントを用いたカウンターバランス機構により、オペレーターは頭の運動を拘束されず、しかも重量を意識せずに6自由度の運動ができる(図2)。

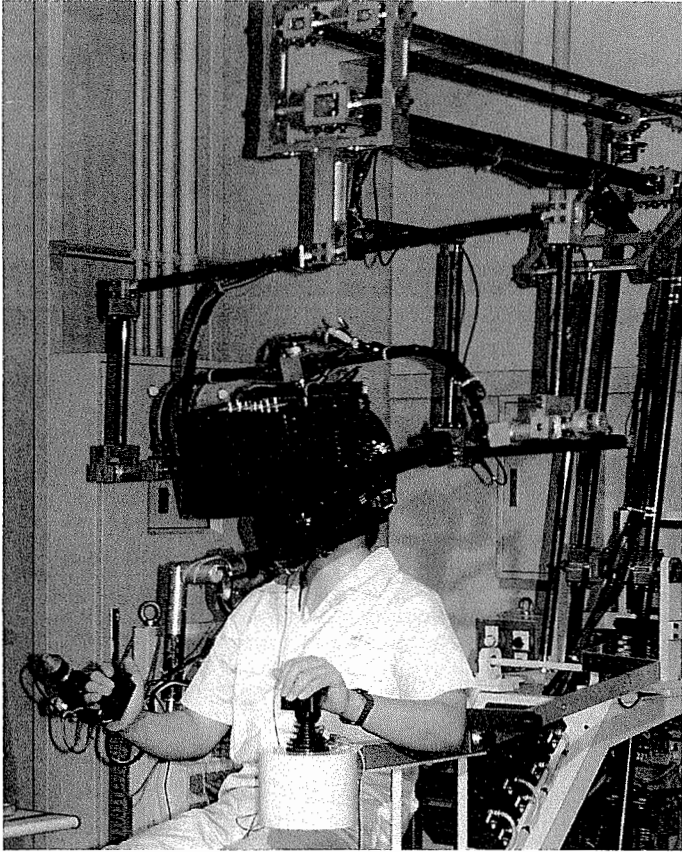


図2 テレイグジスタンス・マスタ装置

大きさや自由度配置を人間に合わせて設計したテレイグジスタンス用スレーブロボットは、頭に立体視カメラとマイクロホンを搭載し、人間の見たい方向、聞きたい方向を向く。ロボットの得た感覚情報はオペレーターに送られ、オペレーターは頭に装着したテレビ装置を使って、ロボットが見たり聞いたりしたのと同じ感覚を三次元的に体験できる。自由度数は頭部運動の6自由度がすべて計測され、人間はすべての方向に自由に動けるので拘束感はない。

このテレイグジスタンスシステムを用いて、手と目の協調運動実験が行われている。このテレイグジスタンスでは、人間は練習なしに、しかも実際に行うのとほとんど変わらない速度で、ブロックを積んだり棒を穴に挿入するなどの作業が行えることが示されている(図3)。

同じ装置によって、コンピュータのシミュレートした仮想空間に入ることもできる。仮想環境の使い方には二通りある。一つは実際の作業に先立って同じような環境で作業を学習する利用法で、もう一つは煙のなかなど目に見えないような状況下において、人間は仮想環境に対して作業し、その情報に従ってロボットが実環境で作業するという方式である。また仮想環境を実環境にスーパーインポーズして、見えないものを補いながら作業することもできる。

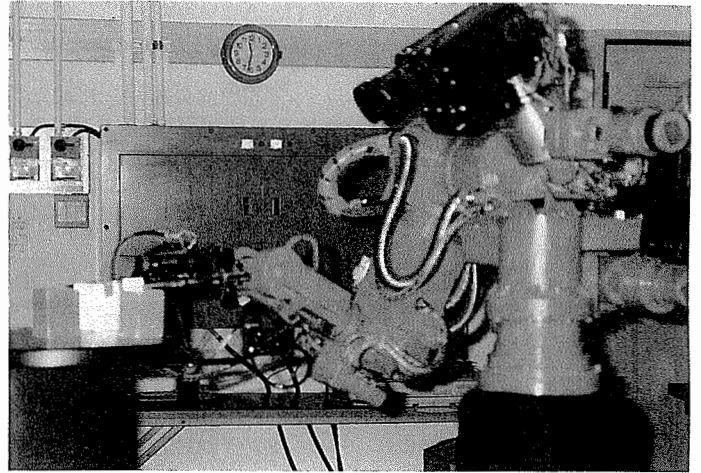


図3 人間型テレイグジスタンス・ロボット

このようなシステムを使うと、自然な距離感が得られるので、人間と一緒に作業する場合も不安なく遂行でき、したがって人とロボットの協調作業も可能となる。このように自分自身の分身として、作業しているロボットを自在に制御したり、ロボットやコンピュータを使って未知の世界を体験できるテレイグジスタンスは、今後様々な分野で活用されると期待されている。

アールキューブ

アールキューブは現在、通産省を中心にして構想されている国家プロジェクトで、その先導研究がフレンドリーネットワークロボティクスとして本年度からスタートする。これはネットワーク環境を利用したパーソナルなテレイグジスタンス社会をめざした基礎研究と位置づけられる。Real-time Remote Robotics (実時間遠隔制御ロボット技術)の頭文字をとってR³と表記して、これをアールキューブと呼んでいる。情報のみが行き交う現在のネットワークを作業の伴うものとする試みともいえる。新しいネットワーク社会の構想を世に問いながら、それを実現するための基礎的な研究が指向されることになる。

このシステムが実現されれば、例えば、現在の家庭のパソコンがVR入出力付きのVRパソコンになり、それを用いてB-ISDN等のネットワークを介して世界中のサイトにテレイグジスタンスすることが可能となる。家庭内のパソコンには、パーソナルロボットがあたかもコンピュータの端末機器のように接続され、コンピュータの指令で制御されたり、テレイグジスタンスモードでは使用者の目となり耳となって環境を認識し、使用者の意のままに分身のように行動する。

家庭だけではなく、オフィスや工場、病院、学校、図書館、美術館、公園、競技場、アミューズメントパークなどあらゆるところに、

テレイドジスタンスロボットが配置され、人は家庭からでもオフィスからでも、あるいは公衆電話のような公衆アールキューブサイトから、世界中のアールキューブロボットを自分の分身として利用できる。これを用いれば例えば、病院に長く入院していて外に出られない子供たちやお年寄り³、ほかの子供たちと一緒に遊んだり、自分の家族の住む家に戻ったりすることが、等価的に可能となるのである。スペースシャトルのアールキューブロボットにテレイドジスタすれば、いわゆる「宇宙からみた地球の平和」を宇宙飛行士でなくとも体感できる。

家庭内に適したロボットと各種作業に適したロボットという形で、多くの種類のロボットが作られるであろう。それはちょうど自動車とのアナロジーで捉えられよう。というのは、高速道路を走るビークルが自動車であるように、情報ハイウェイを行き交うビークルはアールキューブであるからである。家庭用のパーソナルロボットは、自転車を運転するように無免許で利用でき(図4)、災害救助用の大型ロボットは特殊免許(図5)、通常の利用は普通免許といった運用形態が考えられる。

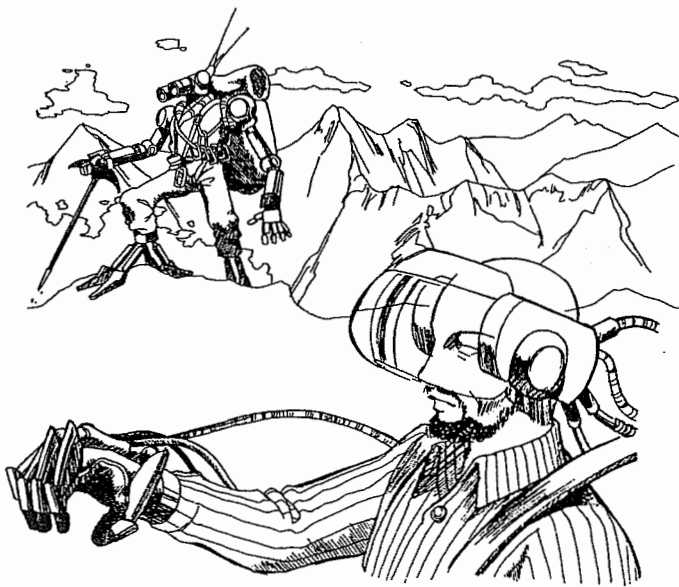


図4 アールキューブ登山

しかし、このような理想的なシステムを実現するためには、解決しなければならない多くの技術課題があることも明白である。例えば人間がいかにして臨場感を得て通常の生活を送るのと同一の感覚でアールキューブロボットを使いこなせるかという問題があり、その解決のためには、人間の意図を非拘束かつ的確に反映できるよう、生理学や心理学的な知見に裏打ちされたVRインタフェースを模索し実現しなければならない。

多少SF的にはなるが、アールキューブが構想する未来の世界の一部を、以下のURLで垣間見ることができる。

<http://www.irofa.com>

参考文献

- 1) 館 暉：人工現実感、日刊工業新聞社、(1992)
- 2) 館 暉、広瀬通孝編著：バーチャル・テック・ラボ、工業調査会、(1992)
- 3) 重点領域研究「人工現実感」平成7年度成果報告書、文部省、(1996)
- 4) ヒューマンメディアの調査研究報告書、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (1995)
- 5) 通産省アールキューブ研究会：アールキューブ、日刊工業新聞社 (1996)
(たち すすむ 東京大学教授/工学博士)

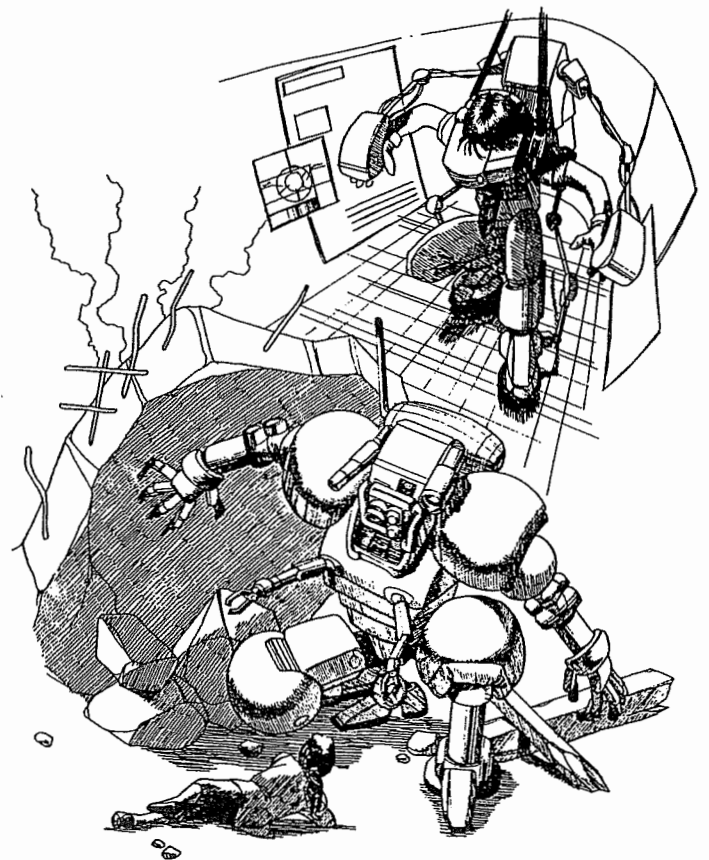


図5 災害救助用アールキューブ